

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 458 838

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 79 14441

(54)

Dispositif de mesure de l'orientation relative de deux corps et système de repérage de direction correspondant.

(51)

Classification internationale (Int. Cl. ³). G 05 D 3/12; F 41 G 1/00; G 06 F 15/50.

(22)

Date de dépôt..... 6 juin 1979, à 15 h.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 1 du 2-1-1981.

(71)

Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, résidant en France.

(72)

Invention de : Claude Constant.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire :

La présente invention concerne un dispositif de mesure de l'orientation relative de deux corps applicable plus particulièrement au repérage de direction.

Il est parfois utile de repérer avec une certaine précision
5 la direction vers laquelle un axe est orienté sans avoir de contact matériel avec celui-ci.

On rencontre ce type de problème, en particulier, dans les systèmes viseurs de casque utilisés dans les avions de combat ; le fonctionnement d'un tel système est rappelé brièvement ci-
10 après. Par un dispositif collimateur annexe, le pilote voit à travers une glace semi-réfléchissante solidaire du casque et interposée sur un axe de vision monoculaire, l'image d'un réticule projeté à l'infini en superposition avec la scène extérieure.

Lorsqu'il veut désigner une cible de la scène observée,
15 il amène à coïncider ce réticule avec la cible et signale que la coïncidence est réalisée au moyen par exemple d'une commande par bouton poussoir prévue à cet effet.

A condition de repérer, au moment de la signalisation, la position exacte de son casque, il est alors assez aisé de dé-
20 terminer par rapport à l'avion, la direction de visée du pilote et de désigner l'objectif à un système d'arme, ou de pointer dans cette direction un système optique ou autre.

La présente invention permet de réaliser un système de repérage de direction répondant à un tel problème. La direction
25 à repérer est liée à une structure libre dont les mouvements s'effectuent dans un volume spatial déterminé. Dans l'application particulière envisagée, la structure libre comporte le casque du pilote et le volume est délimité par les débattements possibles de la tête du pilote à l'intérieur du cockpit. Le
30 dispositif de repérage comporte une première partie solidaire de la structure mobile et une seconde partie fixée à une structure extérieure, l'avion en l'occurrence, pour mesurer les mouvements angulaires relatifs de la structure mobile par rapport à un système d'axes de référence lié à la structure externe.

2458838

Le dispositif de repérage permet ainsi, à partir de points fixes par rapport à l'avion, de repérer la position d'un objet porté par le casque du pilote, et de remonter, par là, grâce à un calcul, à la direction de visée.

- 5 Le casque étant porté par le pilote, il importe que la partie du dispositif qui est fixée au casque soit la plus légère, la moins encombrante, et présente le minimum de danger et d'inertie.

- 10 Les systèmes de repérage de direction existent sous différentes formes ; ils combinent des éléments rayonnants dits radiateurs avec des éléments récepteurs correspondants dits senseurs de radiation ou capteurs. Une technique basée sur le couplage optique consiste à utiliser des sources lumineuses ponctuelles telles des diodes électroluminescentes et des mosaïques linéaires de photodétecteurs associées à des caches optiques.

- 20 Une autre catégorie de systèmes dans laquelle se place le dispositif de mesure objet de l'invention, utilise le couplage magnétique pour déterminer l'orientation relative de deux trièdres cartésiens. Selon une réalisation connue décrite dans le brevet français n° 74 26325 publié sous le n° 2 239690 ou dans le brevet américain d'origine n° 3 868565, un premier trièdre constitue le trièdre de référence et correspond au radiateur solidaire de la structure avion, le deuxième trièdre correspond au capteur solidaire du casque du pilote. Chaque trièdre est défini au moyen d'un groupement de trois bobines d'axe X, Y et Z respectivement. Les bobines du radiateur sont alimentées simultanément par des courants alternatifs d'excitation différents et déterminés en sorte de produire un champ conique tournant. Le circuit d'excitation est asservi à celui de réception des informations induites dans les bobines du capteur en sorte que l'axe du champ conique résultant reste pointé en direction du capteur. L'électronique de réception et de mesure élabore à l'aide d'un calculateur les trois angles d'Euler

déterminant l'orientation relative des trièdres.

L'asservissement du champ d'émission sur la position du capteur introduit d'une part, une erreur de pointage qui se traduit par une incertitude sur les angles cherchés et d'autre
5 part, une limitation de la zone spatiale d'évolution du capteur.

Un objet de la présente invention est de réaliser un dispositif de mesure d'orientation et de repérage de direction qui remédie aux inconvénients précités et qui permet par la suppression de la boucle d'asservissement de l'émetteur de
10 simplifier l'électronique de traitement.

Selon une caractéristique de la présente invention, le dispositif de mesure comporte des moyens générateurs des courants d'excitation qui alimentent successivement les trois bobines du radiateur par un même signal alternatif constitué par une onde
15 entretenue pure, et des moyens de traitement des signaux induits dans les trois bobines du capteur qui sont connectés successivement en sortie de chaque bobine du capteur au cours de chaque phase d'alimentation d'une bobine du radiateur, en sorte de traiter neuf signaux correspondants aux projections selon le
20 trièdre capteur des trois champs successifs produits par le radiateur à l'emplacement du capteur et d'en déduire à l'aide de moyens de calcul annexes les trois angles d'Euler correspondant à l'orientation relative des trièdres et consécutivement l'orientation d'un axe lié au trièdre radiateur.

25 Les particularités et avantages de la présente invention apparaîtront au cours de la description qui suit donnée à titre d'exemple à l'aide des figures annexées qui représentent :

- la figure 1, un schéma relatif aux angles d'Euler à identifier;
- 30 - la figure 2, un schéma relatif au procédé utilisé selon l'invention ;
- la figure 3, un diagramme général d'un dispositif de mesure d'orientation ou système de repérage de direction conforme à l'invention ;

2458838

- la figure 4, des formes d'ondes et schémas de distribution temporelle relatifs au fonctionnement d'un dispositif selon les figures 2 et 3 ; et

- la figure 5, un diagramme d'un exemple de réalisation
5 d'un dispositif de mesure selon la figure 3.

En se reportant à la figure 1, les axes orthogonaux X, Y et Z représentent un trièdre de référence lié à un premier corps sur lequel est fixé l'un des éléments du dispositif de mesure, un radiateur R. Les axes orthogonaux x, y et z représentent le
10 trièdre lié au deuxième corps sur lequel est fixé l'autre élément, le capteur C en l'occurrence. Les corps sont mécaniquement découplés, le deuxième corps est libre de se mouvoir par translation et/ou rotation. La rotation se traduit par les angles d'Euler α en gisement, θ en site, et φ en roulis autour de la direction à
15 repérer. Cette dernière est avantageusement constituée par l'un des axes du trièdre x, y, z pour simplifier les calculs, l'axe x dans l'exemple figuré. En outre, afin de simplifier la représentation l'axe x est considéré passant par le point origine O du trièdre de référence X, Y, Z. Dans l'application à un viseur
20 de casque, l'axe X correspond de préférence à l'axe longitudinal de l'avion, dirigé vers l'avant, le trièdre X, Y, Z représente l'avion, le capteur C est solidaire du casque du pilote et x représente la direction de visée à identifier.

La figure 2 relative au procédé mis en oeuvre conformément
25 à l'invention montre les groupements de bobines R1, R2 et R3 du radiateur et C1, C2 et C3 du capteur, qui permettent de définir les trièdres respectifs. Chaque groupement comporte trois bobines. Chaque bobine est assimilable à une spire fermée dont le plan est orthogonal à celui de chacune des autres bobines
30 du groupement. La bobine R1 dans le plan ZOY présente l'axe X, la bobine R2 dans le plan ZOX présente l'axe Y et la bobine R3 dans le plan XOY présente l'axe Z. Il en est de même pour les bobines C1, C2, C3 du capteur C définissant les axes x, y et z. Le passage d'un courant d'excitation I dans la bobine R1 du

du radiateur R produit un champ de valeur maximale selon l'axe X de la bobine. Le champ H1 produit au point origine M du trièdre capteur x, y, z est tangent à la ligne de force F1 passant par M. Le champ H1 donne naissance à des courants induits dans les bobines C1, C2 et C3 du capteur. Les courants induits sont proportionnels aux projections du champ H1 selon les axes x, y et z. Ainsi le courant I1 induit dans la bobine C1 résulte du champ H11 selon x ; de même I2 et I3 résultent des champs H21 et H31 selon y et z respectivement. La valeur du champ H1 est proportionnelle à la valeur du courant I et varie par ailleurs en $1/d^3$, d étant la distance OM entre les trièdres. On verra ultérieurement le procédé de mesure utilisé pour calculer à partir des neuf composantes les angles d'Euler α , θ et φ et en déduire la direction de visée.

Suivant le diagramme général de la figure 3, le système comporte une partie émettrice de champ 1 incluant les bobines R1, R2, R3 du radiateur et les moyens d'alimentation correspondant formés d'un générateur 2 et d'un circuit de commutation 3. Le circuit reçoit par une première entrée la sortie SO du générateur, par une seconde entrée un signal de commande S1 et comporte trois sorties d'alimentation respectives des bobines R1 à R3. Le générateur 2 peut consister en un oscillateur ; il délivre le signal SO constitué par une onde entretenue pure de la forme $A \sin wt$ destiné à produire le courant d'excitation dans les bobines. Le signal de commande S1 est un signal périodique du type représenté sur la figure 4a pour connecter par commutations successives l'entrée SO sur chacune des sorties d'alimentation de bobine. La bobine R1 est alimentée au cours d'une première période T1 (figure 4b), puis R2 au cours de la seconde période T1 et enfin R3 durant une troisième période ; le cycle complet d'émission a pour durée $T2 = 3T1$ et est répété à la période T2.

La partie réceptrice 4 comporte le groupement de bobines C1, C2, C3 du capteur connecté à des circuits d'amplification

et de traitement 6 à travers un circuit de commutation 7 de manière à recueillir les composantes selon x , y , z de chacun des trois champs émis. Ce circuit de commutation 7 comporte donc trois entrées réceptrices des signaux issus respectivement des trois bobines, une entrée de commande et une sortie unique.

5 Le signal de commande S2 correspondant est du type représenté sur la figure 4c, périodique et de période $T_1/3$ pour commuter successivement les bobines C1, C2 et C3 vers la sortie S3 (figure 4d). Le cycle complet comporte neuf périodes du signal S2 afin de recueillir les neuf composantes des champs H1, H2 et H3 successifs. Chaque bobine du capteur est connectée trois fois au cours d'un cycle T_2 . Le traitement en 6 comporte une démodulation cohérente à partir du signal S0 d'émission.

10 Les signaux traités S4 sont transmis à un calculateur annexe 8 tel un calculateur de bord, pour calculer les angles α , θ et ψ .

Conformément à l'invention, le récepteur comporte une boucle formée par un comparateur différentiel 9 dans lequel le signal de bobine S3 est comparé à un signal de référence S5 d'amplitude variable contrôlée par le calculateur. Le signal S5 est une onde de même nature que S3 et est produit à partir du signal S0 appliqué à un circuit amplificateur à gain variable 10. L'asservissement créé par la boucle fonctionne de manière à annuler le signal d'erreur S6 en sortie du comparateur résultant de la différence entre S3 et S5 et à en déduire la valeur de la composante correspondante. L'annulation de l'erreur S6 est obtenue par variation du signal S7 de commande de gain, cette variation étant calculée par le circuit 8. Compte tenu de la distribution temporelle à la période T_2 d'une même composante (figures 4b et 4d), le calculateur 8 stocke les valeurs correctives correspondantes et produit l'annulation au cours d'au moins deux périodes T_2 successives.

20 25 30 Le fonctionnement apparaîtra plus clairement à l'aide du diagramme plus détaillé de la figure 5 correspondant à un exem-

ple de réalisation. Les mêmes éléments ou signaux que ceux de la figure 3 y sont référencés de même manière. Le traitement comporte un circuit démodulateur synchrone 20 dont la sortie continue S8 correspond à l'amplitude du signal d'erreur S6 redressé et détecté. Ce signal est appliqué à un circuit intégrateur cohérent 21 composé d'un intégrateur 22, des commutateurs de branchement 23 et 24 et d'un commutateur de remise à zéro 25. La sortie d'intégration S9 est transformée en donnée numérique par un circuit de conversion et de codage 27 pour produire la donnée S4 transmise au calculateur 8 à travers un registre tampon 28. A partir de ce signal le calculateur élabore la donnée S7 appliquée au circuit à gain variable formé d'un registre 29 et d'un multiplicateur numérique-analogique 30 où le signal S0 est multiplié par le signal S7.

Le fonctionnement de la boucle est le suivant pour chaque composante de champ : on considère par exemple la composante H11 selon x du champ H1 créé par la bobine R1. Le courant induit correspondant en C1 est reçu pendant la période allant de t_0 à $t_0 + T1/3$ d'un premier cycle considéré (fig. 4d) et donne un signal S3. L'intégrateur 22 est remis à zéro au début de chaque période $T1/3$. Après remise à zéro, le commutateur 23 est commandé à la fermeture et le signal démodulé S8 est intégré. Un peu avant la fin de la période $T1/3$ considérée les commutateurs 23 et 24 sont commandés respectivement à l'ouverture et à la fermeture, ce qui permet de coder la valeur analogique d'erreur en 27. Le calculateur élabore une variation correspondante de l'information S7 pour que la nouvelle valeur multipliée par S0 en 30 produise la compensation désirée.

Cette nouvelle valeur est toutefois stockée jusqu'à la période suivante concernant la même composante et qui débute à l'instant $t_0 + t_2$. Après annulation de l'erreur S6, la valeur S7 qui a été transmise au registre 29 représente, à un coefficient multiplicateur près connu dû au circuit 30 et à la chaîne de démodulation et d'intégration, la valeur de la composante H11.

2458838

Le commutateur 24 est commandé à l'ouverture à la fin de chaque période $T_{1/3}$. A titre indicatif, la fréquence de l'oscillateur 2 peut être par exemple de l'ordre de 20 kHz et la période $T_{1/3}$ choisie égale à une vingtaine de cycles de l'onde oscillateur ce qui correspond à 1/100 sec. soit cent mesures par seconde. La durée d'intégration proprement dite est légèrement inférieure à $T_{1/3}$ compte tenu des durées de commutations des circuits 23, 24, et 25 produites en début et en fin de période $T_{1/3}$.

Le calculateur 8 élabore sous forme numérique les signaux de commande S1 et S2 des circuits de commutation ou circuits multiplex 3 et 7 auxquels ils sont transmis à travers des registres 32 et 33. Il élabore en outre un signal S10 appliqué à un circuit amplificateur à gain variable 34 à travers un registre 35, étant entendu que le circuit 34 est du type à commande numérique. Ce circuit est interposé entre l'oscillateur 2 et le circuit de commutation 3. Le but de ces circuits est de compenser l'affaiblissement du signal qui varie en $1/d^3$, d étant la distance capteur-radiateur, et consécutivement de préserver le rapport signal à bruit. Le signal S10 est élaboré en tenant compte des variations d'amplitude présentées par les signaux S3 successifs au cours du temps, ces variations étant engendrées par les déplacements du capteur lié à la structure mobile. Les signaux délivrés par le commutateur 3 sont amplifiés à un niveau convenable par les circuits respectifs 36, 37 et 38 pour l'excitation séparée des bobines. Le circuit 39 dans le calculateur 8 correspond à un ensemble de synchronisation élaborant, à partir du signal S0, les signaux de commande S1 et S2 des commutateurs 3 et 7, ainsi que ceux S11, S12 et S13 destinés aux commutateurs 23, 24 et 25.

Le procédé de calcul des angles d'Euler est le suivant ; en supposant que le trièdre x, y, z en M est orienté de même manière que le trièdre de référence X, Y, Z on obtient avec les neuf composantes de champ une première matrice $[H_{i,j}]$ de coefficients résultant de :

$$HX = h_{11} I_1 + h_{12} I_2 + h_{13} I_3$$

$$HY = h_{21} I_1 + h_{22} I_2 + h_{23} I_3$$

$$HZ = h_{31} I_1 + h_{32} I_2 + h_{33} I_3$$

où I_1 , I_2 et I_3 sont les courants dans les bobines C_1 , C_2 et C_3
 5 et $h_{i,j}$ des coefficients tels que $h_{11} I_1$ correspond à la composante H_{11} de H_1 (fig. 2), $h_{12} I_2$ à la composante H_{12} de H_2 , etc.
 HX représente la somme des trois composantes successives selon X , et la somme $\vec{H} = \vec{H}_X + \vec{H}_Y + \vec{H}_Z$ correspond à celle $\vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \vec{H}_3$
 des champs successifs. Le passage de la position de référence
 10 en M à la position réelle résulte des rotations α autour de Z ,
 θ autour de Y et φ autour de X (fig. 1). On peut écrire la
 matrice de rotation $[R]$ correspondante où α , θ et φ sont les
 valeurs à trouver. Si $[H'_{i,j}]$ représente la matrice des compo-
 santes après rotation, c'est-à-dire celles effectivement reçues
 15 au niveau du capteur, on a la relation $[H'_{i,j}] = [R] \cdot [H_{i,j}]$;
 $[H']$ étant connu, il suffit de connaître $[H]$ pour obtenir $[R]$
 par le calcul.

La matrice $[H]$ est déterminée par le calcul à partir des
 informations reçues en se basant notamment sur les remarques
 20 ci-après ;

- les composantes selon x, y, z , de chaque champ H_1 , H_2 , H_3
 sont connues, on peut en déduire les modules des champs ;
- les directions de H_1 , H_2 , H_3 ne dépendent que de la po-
 sition M du capteur dans l'espace et plus précisément de la
 25 direction OM ;
- chaque vecteur champ H_1 , H_2 ou H_3 est dans le plan formé
 par la direction OM entre radiateur et capteur et l'axe magné-
 tique de la bobine excitée, ainsi H_1 est dans le plan OM , OX
 (fig. 2) ;
- 30 - l'angle γ que fait le vecteur champ en M avec la direction
 OM (γ_1 pour H_1 , γ_2 pour H_2 , etc.) est connu car le diagramme
 de rayonnement des bobines du radiateur est connu ;
- cet angle γ reste le même le long de la direction OM et
 ne dépend que de cette direction, si l'on appelle δ l'angle de

la direction OM avec l'axe magnétique correspondant (OX pour le champ H1) l'angle γ est le même le long de toutes les génératrices du cône de sommet O et de demi-angle au sommet δ obtenu par rotation de OM autour de X ceci pour raison de symétrie de

5 la distribution de champ autour de l'axe magnétique ;

- l'angle γ peut être défini de manière simple en fonction de δ en assimilant la bobine excitée à une spire de petite dimension elle-même assimilable à un doublet magnétique, on peut écrire $\text{tg } \gamma = \frac{1}{2} \text{tg } \delta$ et les composantes selon OM et la di-

10 rection perpendiculaire dans le plan formé par le champ et OM sont connues en fonction de $\cos \delta$ et $\sin \delta$ à une constante multiplicative près ;

- l'angle β que fait chaque champ avec le plan formé par les deux autres champs, par exemple $\vec{H}_1$ avec le plan $\vec{H}_2, \vec{H}_3$

15 peut être exprimé en fonction de δ selon la relation

$$\text{tg } \beta = 2/3 \left(\text{tg } \delta + \frac{1}{\text{tg } \delta} \right).$$

A partir des remarques précitées, il est déterminé un algorithme de calcul de la matrice $[H]$ des composantes de $\vec{H}_1, \vec{H}_2$ et $\vec{H}_3$ dans le repère radiateur X, Y, Z, il en est déduit la matrice
20 de rotation $[R] = [H^{-1}]_{i,j} \cdot [H]_{i,j}$ où $[H^{-1}]$ est la matrice $[H]$ inversée, et consécutivement les angles d'Euler α, θ et φ .

L'établissement de cet algorithme est hors du cadre de la présente invention et n'est pas reproduit dans le détail.

Si l'un des axes du trièdre mobile constitue la direction à
25 repérer, l'identification de sa direction est immédiate, par exemple l'axe x est localisé angulairement par les valeurs α et θ vis à vis du trièdre de référence X, Y, Z.

Le procédé de calcul indiqué n'est pas à considérer comme limitatif, la programmation du calculateur étant faite selon
30 des techniques connues en fonction des algorithmes de calcul à résoudre, eux-mêmes fonction du procédé retenu.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure de l'orientation relative de deux
corps mécaniquement indépendants, comportant un générateur de
champ magnétique dit radiateur composé d'un premier groupement
de trois bobines et d'un circuit d'alimentation comportant un
5 oscillateur, un récepteur dit capteur composé d'un deuxième
groupement de trois bobines alimentant un circuit de traitement
des signaux induits par amplification suivie de démodulation
synchrone, chaque groupement étant solidaire d'un corps et
ayant ses bobines orientées selon des directions orthogonales
10 définissant un trièdre cartésien pour le corps associé, le
circuit de traitement alimentant des moyens de calcul et de
commande délivrant l'information d'orientation relative des
trièdres, caractérisé en ce que les circuits d'alimentation (2)
et de traitement (5-6) sont connectés aux bobines correspondantes
15 respectivement à travers un circuit de commutation (3-7) com-
mandé à partir des moyens de commande (8) en sorte, d'alimenter
successivement les bobines du radiateur (R1, R2, R3) par un
même signal alternatif (S0) constitué par l'onde entretenue pure
délivrée par l'oscillateur, et de connecter séparément et succes-
20 sivement les bobines du capteur (C1, C2, C3) au circuit de
traitement au cours de chaque phase d'alimentation (T1) d'une
bobine du radiateur.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en
ce que le récepteur comporte une boucle formée par un circuit
25 comparateur différentiel (9) connecté par une entrée à la sortie
du circuit de commutation (7) et par une deuxième entrée à un cir-
cuit à gain variable (10) qui reçoit le signal d'oscillation et
qui est commandé par les moyens de calcul et de commande (8) for-
més par un calculateur annexe, la sortie du comparateur alimentant
30 le circuit de traitement.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce
que le circuit de traitement comporte en aval d'un démodulateur
synchrone (20) un circuit intégrateur cohérent (21) en série
avec un circuit de conversion analogique-numérique et de décodage
35 (27).

4. Dispositif selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le circuit à gain variable comporte un circuit de conversion numérique-analogique et de multiplication (30) recevant un signal numérique de commande de gain (S7) du calculateur et le signal analogique d'oscillation (SO), et alimentant par sa sortie la deuxième entrée du comparateur différentiel (9).

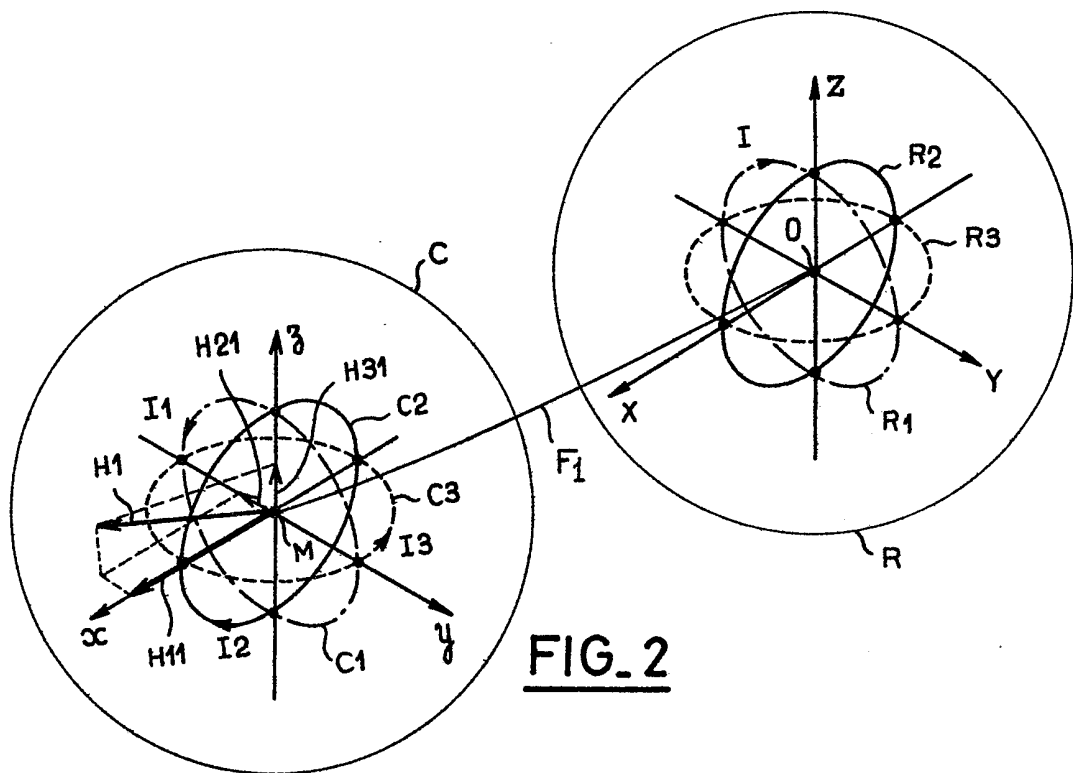
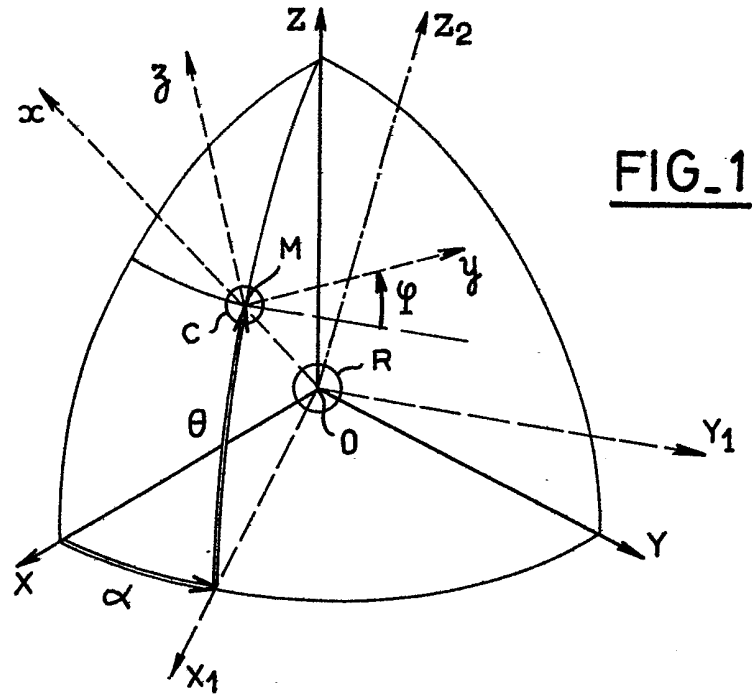
5. Dispositif selon la revendication 3 ou l'ensemble des revendications 3 et 4, caractérisé en ce que les moyens de commande comportent un circuit de chronométrie (39) élaborant à partir du signal d'oscillation (SO) les signaux de commande (S1, S2) des circuits de commutation (3, 7) et des signaux de commande (S11, S12) et de remise à zéro (S13) destinés au circuit intégrateur cohérent (21).

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le générateur comporte des moyens de compensation de l'atténuation en fonction de la distance capteur-radiateur sous forme d'un amplificateur à gain variable (34) interposé entre l'oscillateur (2) et le circuit de commutation associé (3) et commandé à partir des moyens de calcul.

7. Dispositif selon l'ensemble des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que les circuits de calcul (31) du calculateur élabore périodiquement les angles d'Euler présentés par les deux trièdres à partir des neuf signaux successifs (S4) issus du circuit de traitement et correspondant aux composantes des trois champs successifs produits à l'endroit du capteur par les bobines du radiateur excitées l'une après l'autre au cours d'un cycle (T2) de fonctionnement répété périodiquement, les composantes produites selon le trièdre capteur étant définies à partir des signaux induits dans les bobines du capteur.

8. Système de repérage de direction constitué par un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, et dans lequel la direction à repérer est constituée par l'un des axes du trièdre capteur.

9. Système selon la revendication 8 destiné à équiper un système viseur de casque dans lequel le capteur (C) est solidaire du casque du pilote et le radiateur (R) solidaire de l'avion.



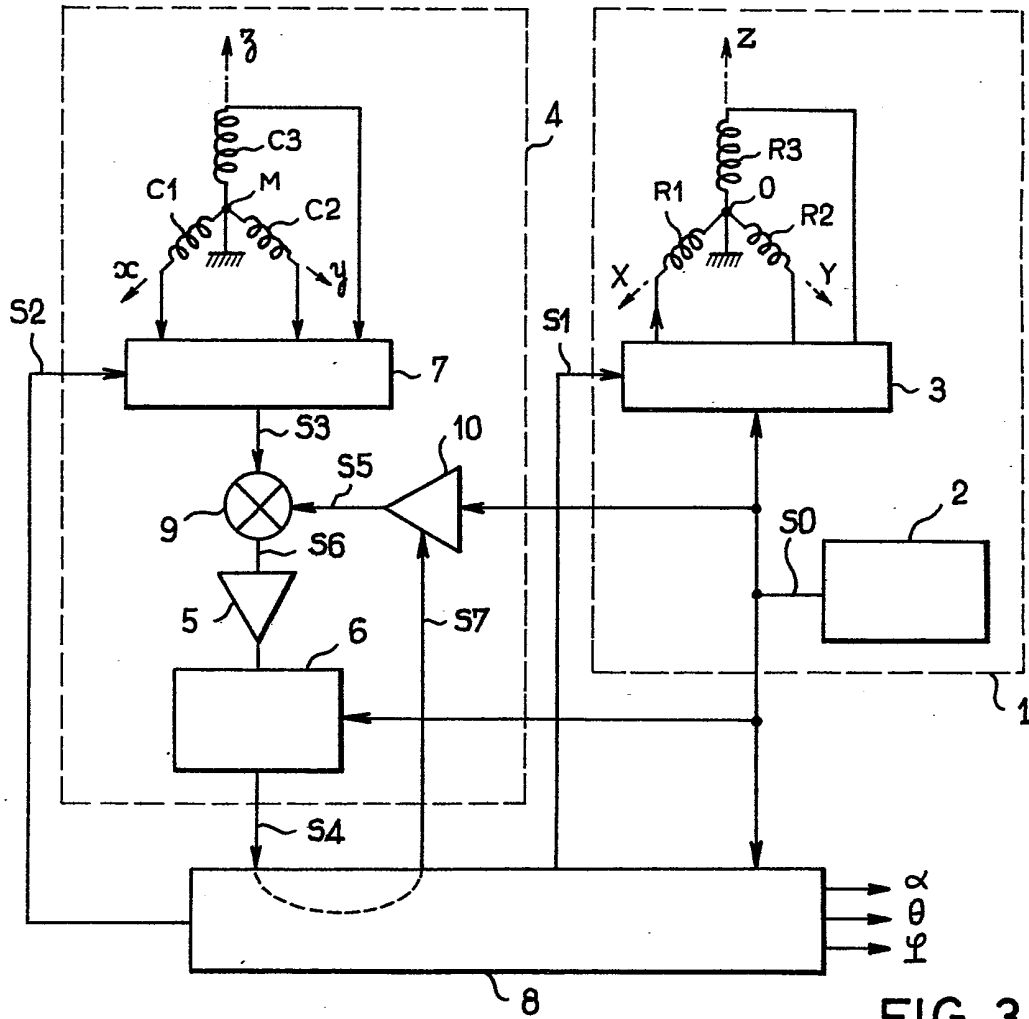


FIG. 3

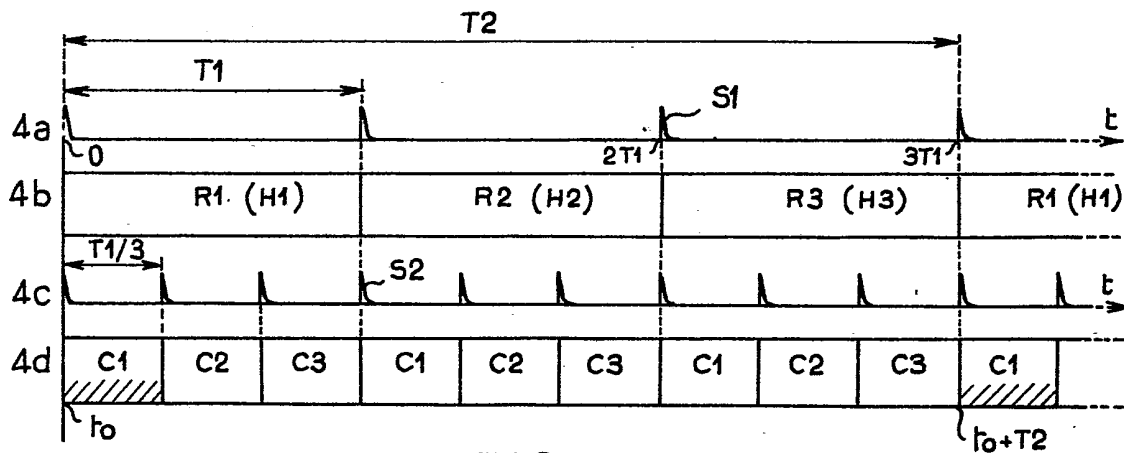


FIG. 4

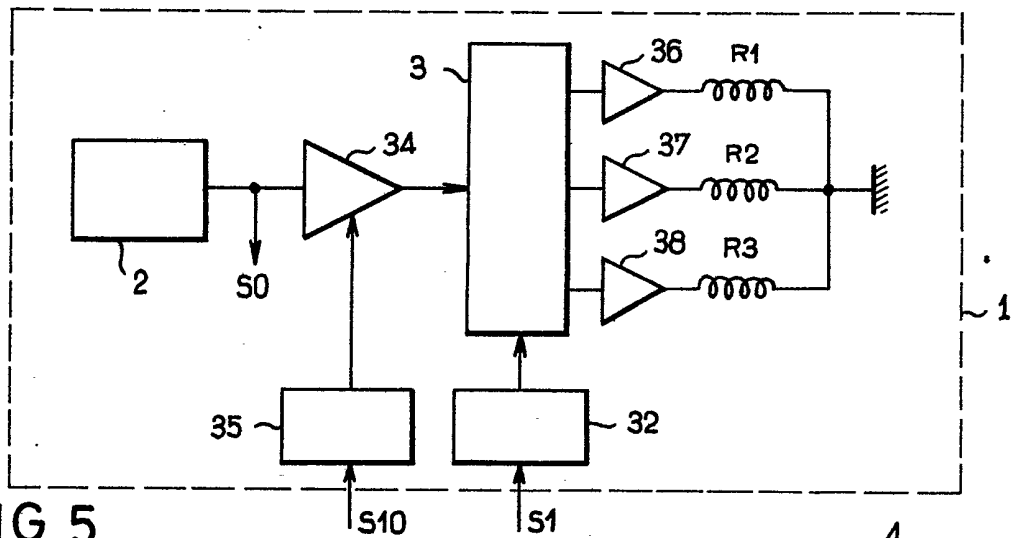


FIG. 5

